

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Ústav letecké dopravy

Praktický výcvik technika údržby letadel

v kompozitové dílně

Practical Training of Aviation Maintenance

Technician in Composite Workshop

Student:

Roman Bambušek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Rostislav Horecký, Ph.D.

Ostrava 2013

Zadání bakalářské práce

Student: **Roman Bambušek**
Studijní program: B3712 Technologie letecké dopravy
Studijní obor: 3708R038 Technologie údržby letecké techniky
Téma: **Praktický výcvik technika údržby letadel v kompozitové dílně**
Practical Training of Aviation Maintenance Technician in Composite Workshop

Zásady pro vypracování:

1. Analýza požadavků pro zařízení kompozitové dílny vhodné k děláskému výcviku.
2. Příprava náplně praktických cvičení a výroba několika vzorových kompozitových předmětů.
3. Zpracovat dokumentaci a technologické postupy k jednotlivým cvičením.
4. Příprava cenové kalkulace pro nákup pracovních prostředků k vybarvení dílny a potřebných materiálů pro přípravená cvičení.
5. Navrhnutí možné alternativy pro další možnosti využití prostoru kompozitové dílny.

CI BP: Zpracovat dokumentaci a technologické postupy pro praktický výcvik v oblasti kompozitních materiálů v letectví.

Seznam doporučené odborné literatury:

Kelly Vincenc: Carbon fiber (on: <http://www.carbon-fiber.com/>)
Nařízení komise ES č. 2012/004/R, část PART 145. Organizace údržby, Brusel, 2012.
(<https://www.easa.europa.eu/agency-measures/acceptable-means-of-compliance-and-guidance-material.php#AMCPart-145>)
MTDE údržbových organizací Job Air, ČSA

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Rostislav Horecký, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012
Datum odevzdání: 20.05.2013



doc. Ing. Aleš Sliva, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

Roman Baulisk

V Ostravě 20. 5. 2013

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 20. 5. 2013

Roman Bambušek

.....
Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Roman Bambušek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Holešická 4748, Chomutov, 43004

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Bambušek, R. Praktický výcvik technika letadel v kompozitové dílně: Bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Ústav letecké dopravy, 2013, 46 s. Vedoucí práce: Horecký, R.

Tato bakalářská práce se zabývá vytvořením adekvátních podmínek pro ucelený praktický výcvik studentů oboru Technologie údržby letecké techniky na Vysoké škole báňské, tedy budoucích techniků údržby letadel, v kompozitové dílně. První část věnuje kompozitním materiálům jako celku. V hlavní části pak analyzuje požadavky na vybavení kompozitové dílny, také navrhuje předlohy určené pro procvičení praktické stránky problematiky a popis výroby těchto předloh. Závěrečná část se zabývá cenovou kalkulací pro vybavení kompozitové dílny a návrh jejího dalšího využití.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

Bambušek, R. Practical Training of Aviation Maintenance Technician in Composite Workshop: Bachelor thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Air Transport, 2013, 46 p. Thesis head: Horecký, R.

This bachelor thesis deals with the creation of adequate conditions for student's full practical training in composite workshop. This composite workshop is owned by Department of Air transport on VŠB-TUO. First part of the thesis is about basic partition of composite materials. Main part contains analyse requests for workshop's equipment, design of patterns for practical training in produce of composite materials and description the production of these patterns. The last part is represented by pricing of workshop's equipment and by a proposal of next utilization.

Obsah

| | |
|--|----|
| Seznam použitých zkratk | 7 |
| Cíle práce | 8 |
| 1 Úvod | 9 |
| 2 Kompozitní materiály | 10 |
| 2.1 Úvod do kompozitních materiálů | 10 |
| 2.2 Dělení kompozitů | 10 |
| 2.2.1 Matrice | 11 |
| 2.2.2 Výztuž | 12 |
| 2.2.3 Vlákna | 12 |
| 2.2.4 Sendviče | 14 |
| 3 Analýza požadavků kompozitové dílny | 16 |
| 3.1 Základní požadavky | 16 |
| 3.2 Požadavky na bezpečnost a ochranu zdraví | 16 |
| 3.3 Požadavky na technické vybavení dílny | 17 |
| 3.3.1 Celkové rozvržení dílny | 17 |
| 3.3.2 Popis vybavení dílny | 18 |
| 4 Příprava náplně praktických cvičení | 24 |
| 4.1 Všeobecný popis cvičení | 24 |
| 4.2 Popis předloh | 24 |
| 4.2.1 Základní prvek brankařské vyrážačky | 25 |
| 4.2.2 Plovák | 26 |
| 4.2.3 Rukojeť nože | 27 |
| 5 Technologické postupy k výrobě předloh | 28 |
| 5.1 Výroba forem | 28 |
| 5.2 Deska | 29 |
| 5.2.1 Postup výroby | 29 |
| 5.3 Plovák | 30 |
| 5.3.1 Postup výroby | 31 |
| 5.4 Rukojeť | 32 |
| 5.4.1 Postup výroby | 32 |
| 5.5 Časový harmonogram práce | 33 |
| 6 Cenová kalkulace nákupu vybavení a materiálů | 34 |
| 6.1 Kalkulace vybavení, strojů a nářadí | 34 |
| 6.2 Kalkulace materiálu pro výrobu předloh | 42 |
| 6.2.1 Kalkulace desky | 42 |
| 6.2.2 Kalkulace plováku | 43 |
| 6.2.3 Kalkulace rukojeti | 43 |
| 7 Alternativy pro další využití dílny | 44 |
| Závěr | 45 |
| Seznam použité literatury | 46 |

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

| | | |
|------------------|------------------|---------------------|
| Al | Hliník | |
| Ca | Vápník | |
| K | Draslík | |
| k | kilo | [10 ³] |
| M | mega | [10 ⁶] |
| m | mili | [10 ⁻³] |
| Mg | Hořčík | |
| Na | Sodík | |
| Pb | Olovo | |
| PU | Polyuretan | |
| PVA | Polyvinilalkohol | |
| PVC | Polyvinilchlorid | |
| SiO ₂ | Oxid křemičitý | |
| W | Watt | |
| μ | mikro | [10 ⁻⁶] |
| °C | stupeň Celsia | |

CÍLE PRÁCE

V této bakalářské práci se zaměřím na tvorbu podmínek pro co nejužitečnější praktický výcvik studentů našeho ústavu v oblasti kompozitů, jakožto materiálů majících stále větší podíl na konstrukcích moderních letounů.

Cílem první části mé práce je, ještě před hlubším seznámením čtenáře s výrobou kompozitních materiálů, uvedení do základního dělení kompozitů a jejich vlastností. V dalších kapitolách bych poté chtěl postupně zanalyzovat co nejpřesněji požadavky na vybavení kompozitové dílny a představit vlastní koncept využití nabídnutého prostoru právě vybavením, které je pro výrobu a opravy nejvhodnější. Dále se pokusit svou fantazii využít i v případě návrhů několika předloh, pro něž vyrobím i technologické postupy výroby tak, aby studenti využili alespoň více než jednu technologii ve výrobě kompozitních materiálů.

Povinností pro mě bude i vytvoření přibližné cenové kalkulace, a to jak již výše zmíněného vybavení, tak i materiálů pro výrobu předloh potřebných. Na úplný závěr se pokusím zauvažovat nad dalším účelným využitím mnou navržené kompozitové dílny.

1 ÚVOD

S kompozitními materiály se díky svým vlastnostem, které umožňují jejich použití v mnoha oborech, setkáváme v dnešním světě čím dál častěji. Spolehlivě nahrazují dosud používané materiály a nabízejí výrobcům lepší charakteristiky. Kompozity se jako první začaly hojně využívat v kosmonautice a letectví. Tento fakt přetrvává dodnes, i když se tyto materiály postupně rozšířily do široké škály oborů, ať už se námátkou jedná o automobilový nebo chemický průmysl.

Kompozitním materiálům se ale, stejně jako všem jiným, nevyhýbá poškození nebo úplná destrukce. Abychom při menších poškozeních nemuseli vyrábět celky nové, je třeba pořídit i adekvátní zařízení na zjišťování jejich stavu a zajistit prostory pro jejich skladování a údržbu.

Tato práce se bude věnovat vybavením a zařízením takové kompozitové dílny, pro opravy materiálů a jejich opětovné použití, vhodné pro výcvik dělníků údržby letadel.

2 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

2.1 Úvod do kompozitních materiálů

Kompozitní materiály jsou materiály heterogenní složené ze dvou nebo více fází výrazně se mezi sebou lišící mechanickými, fyzikálními nebo chemickými vlastnostmi. Takové nejzákladnější dělení typů kompozitů je dle materiálů, a to kov-kov, keramika-keramika, keramika-kov, keramika-polymer a polymer-polymer. Vůbec nejrozšířenější typ kompozitních materiálů na světě je na bázi organických pryskyřic vyztužených různými typy keramických a nebo anorganických vláken. Výsledné kompozitní materiály mají jednu ojedinělou přednost a tou je tzv. Synergismus. Znamená to, že jsou vlastnosti výsledného materiálu podstatně lepší než by odpovídalo poměrnému sečtení vlastností jednotlivých složek použitých materiálů.

2.2 Dělení kompozitů

Při dělení a rozlišování kompozitů uvažujeme několik faktorů. Mezi nejzákladnější patří dělení na:

- Vláknové
- Částicové

U vláknových kompozitů je spojována pevnost vláken s tvrdostí pryskyřice. Pevnost a tuhost jednotlivých druhů vláknových kompozitů se liší druhem a uspořádáním použitých vláken. Principem vlastního vláknového vyztužení je skutečnost, že vyztužující vlákna, mající o jeden až dva řády vyšší pevnost a tuhost ve srovnání s pojivem, se při vnějším namáhání deformují méně než polymer. Dochází tak ke vzniku smykových sil na rozhraní vlákno/polymer, které v případě adheze mezi oběma komponentami umožňují přenos veškerého napětí z nepevné matrice do vláken. Ta jsou schopna nést veškerá napětí působící na kompozitní dílec, takže nepevné, ale deformovatelné pojivo je prakticky bez napětí.

Za částicové kompozity lze považovat veškeré materiály, jejichž struktura je tvořená matricí zpevněnou jemnými částicemi (obvykle o rozměrech menších než 1 μm). Jemné částice mohou být např. kovy, kysličníky kovů nebo konstrukční keramika. Například částicové kompozity s hliníkovou nebo titanovou matricí se používají pro

výrobu součástí vystavených za provozu vysokým teplotám. Svými vlastnostmi se vyrovnávají ocelím se zaručenou mezí kluzu při zvýšených teplotách a navíc mají oproti ocelím i další výhody jako zvýšenou odolnost proti korozi a menší hustotu.

Jedním z dalších základních dělení je dělení dle použité výztuže a matrice. Matrice je tedy složka, jejíž úlohou je spojování výztuže dohromady a zajištění správného rozmístění výztuže v příčném řezu pro zachování požadovaných mechanických vlastností. Výztuž je pak složka, jejíž úlohou je zajištění mechanických vlastností materiálu, jako jsou například tvrdost, pevnost nebo modul pružnosti.

2.2.1 Matrice

- 1) Kovová
- 2) Skleněná
- 3) Keramická
- 4) Uhlíková
- 5) Polymerní

Kompozitní materiály s poslední jmenovanou polymerní matricí pak používají dva typy polymerních pryskyřic. Jsou to termoplasty a reaktoplasty.

Termoplasty můžeme chápat jako zprva tuhé látky, které ovšem působením vysokých teplot měknou a roztékají se, aby se pak po ochlazení okolního prostředí vytvrdily a opět přešly do tuhého stavu. Jsou to např. různé polystyreny a polyetylény.

Co se týče reaktoplasty, tak to jsou zprvu naopak řídké viskózní tekutiny a vytvrzují se až po působení chemické reakce dodáním katalyzátoru s iniciátorem. V této tuhé fázi pak vytvrzený termoset setrvává i po zahřívání a zvyšuje se tak jeho odolnost proti creepu (tendence pevného materiálu k pomalé deformaci pod trvalým vlivem napětí) a vysokým teplotám. Tyto termosetové matrice jsou u vláknových kompozitů používány častěji a jako příklad můžeme uvést epoxidy, fenoly, formaldehydy nebo nenasycené polyestery.

2.2.2 Výztuž

Výztuže nejčastěji používáme např. skleněné, uhlíkové, nebo aramidové. Výztuže také dělíme podle stylu kladení vláken na:

- 1) **Jednosměrné** – vlákna jsou orientována převážně v jednom směru
 - a) Krátkovláknové – poměr délka/průměr < 100
 - b) Dlouhovláknové – délka/průměr > 100 nebo se používají tzv. kontinuální vlákna, přičemž je jejich délka shodná s délkou celého dílu
 - c) Prepregy – částečně vytvrzenou pryskyřicí předimpregnované vrstvy vláken ve tvaru tenkých pásů různé šíře

- 2) **Mnohoseměrné** – vlákna jsou náhodně nebo pravidelně orientována dvěma či více směry
 - a) Krátkovláknové – poměr délka/průměr < 100
 - b) Dlouhovláknové – poměr délka/průměr > 100 nebo kontinuální vlákna stejně jak je tomu u jednosměrných výztuží
 - c) Prepregy- částečně vytvrzenou pryskyřicí předimpregnované vláknové rohože a tkaniny

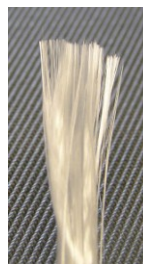
- 3) **Lamináty** – střídání vrstev jednosměrných kompozitů s různými vzájemnými orientacemi výztuže
 - a) Lamináty s tkanou výztuží – střídání vrstev vyztužujících rohoží, ve kterých jsou vlákna před prosycením pryskyřicí utkána běžnými nebo speciálními textilními technologiemi
 - b) Lamináty s netkanou výztuží – vlákna jsou zpracována do roun, aniž by byla tkána

2.2.3 Vlákná

Jak již bylo zmíněno výše, u vláknových kompozitů jako výztuže nejvíce používáme různé druhy vláken. Nyní si nějaké z nich stručněji popíšeme.

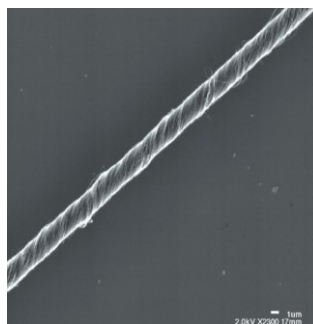
- 1) **Skleněná** – mají silikátový základ (SiO_2). Vyrábí se tažením taveniny směsi oxidu Si (s příměsí oxidů Al, Ca, Mg, Pb) a většinou malým podílem oxidů alkalických kovů Na a K. Potřebného průměru vláken dosáhneme dloužením proudu skla

tekoucího tryskami, přičemž jedna tryska má průměr 1mm, ve dnu zvláknovací hlavy. Konečný průměr vlákna je dán rozdílem mezi rychlostí vytékání skloviny a rychlostí odtahování vlákna. Jednotlivá vlákna se po povrchové úpravě sdružují do pramene a navíjejí se na cívku. Sdružením pramenů vzniká roving (svazek pramínků, filamentů, o tloušťce dané počtem filamentů, běžně od 1 tis. do 24 tis.). Skleněná vlákna se používají v konstrukcích kompozitů s vysokými nároky na mechanické a tepelné vlastnosti.



Obr. 2.2.3a Svazek skleněných filamentů

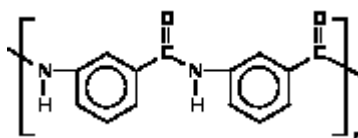
2) **Uhlíková** – Jedná se o dlouhé, tenké prameny o průměru 5-9 μ m složené převážně z atomů uhlíku. Tyto atomy jsou spojeny dohromady v mikroskopické krystaly orientovány k dlouhým osám vláken paralelně. Díky tomuto krystalovému uspořádání je dosaženo velké pevnosti vláken i při jejich malých tloušťkách. Uhlíkových vláken se v největší míře užívá právě v letectví. Zatím největší podíl kompozitů z uhlíkových vláken vykazuje letoun Boeing 787 Dreamliner. Inženýři vsází na tyto materiály především díky hmotnosti (až o 20% nižší spotřeba) při stejné pevnosti a vyšší pružnosti. Nevýhodou však je kontrola a údržba, jelikož defekty ve struktuře konstrukcí z uhlíkových materiálů nemusí být tak zřetelné jako u kovových konstrukcí, proto jsou potřeba drahé technologie kontroly (např. na bázi sonografie).



Obr. 2.2.3b Uhlíkové nebo-li karbonové vlákno

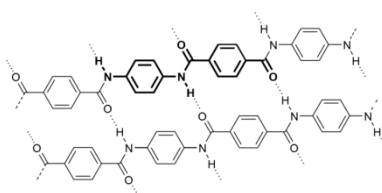
3) **Aramidová** – Označení aramid vzniklo ze dvou slov, a to aromatický polyamid. Jsou to tedy textilie z polyamidů s dlouhým uhlíkovým řetězcem, z jehož peptidických vazeb musí být nejméně 85% spojeno se dvěma aromatickými jádry. Zpravidla dělíme na dvě skupiny:

- a) Meta-aramidy (m-aramidy) vynikají svou termickou odolností a elektroizolačními schopnostmi.



Obr. 2.2.3c Struktura meta-aramidu

- b) Para-aramidy (p-aramidy) vynikají podstatně vyšší pevností v tahu a vyšším modulem pružnosti. Nejznámější para-aramid se skrývá pod obchodní značkou Kevlar



Obr. 2.2.3d Struktura para-aramidu

Při výrobě se polymer skládá z iontové složky, která se váže na vodíkové můstky a z organického rozpouštědla. Sloučenina se zvláknuje přes trysku, vlákna pak ztuhnou při průchodu spřádací lázní, suší se a dluží při teplotách mezi 300 a 400°C. Jednou z dalších výhod aramidů je odolnost proti chemikáliím. Nevýhody jsou pak malá odolnost proti UV-záření a vlhkosti.

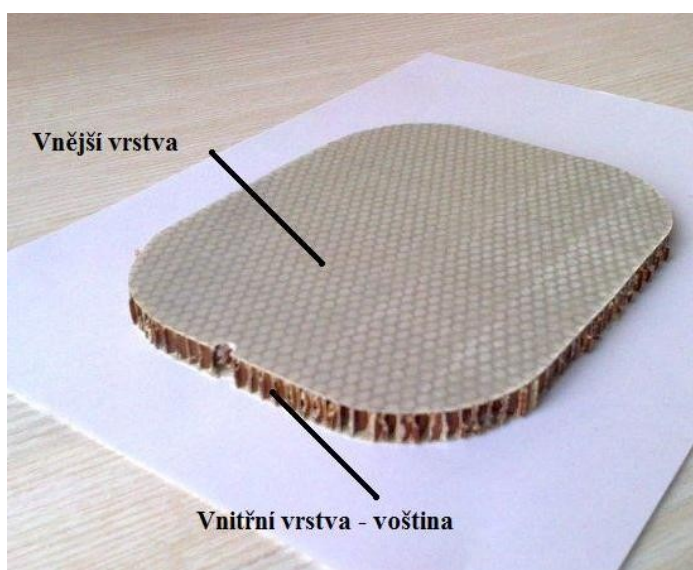
2.2.4 Sendviče

Při dělení jednotlivých kompozitních materiálů a jejich složek ovšem nesmíme zapomenout ani na tzv. sendviče. Jedná se o druh vícevrstvého vláknového kompozitu, který se ve velmi širokém měřítku uplatnění využívá právě i coby jako materiál pro konstrukci dopravních letadel (klapky, přepážky atd.), tak i jako materiál mnoha dílů

v interiéru letounu jako jsou stěny, podlahy, sedadla, dveře ale i absorbéry energie v sedačkách).

Sendvičová konstrukce se skládá ze dvou vnějších a jedné vnitřní složky. Vnější části jsou tenké ale tuhé. Vnitřní vrstva, tzv. distanční, je tlustší, ale zpravidla méně pevná hmota. Zatěžující síly na materiál působí tak, že na obě vnější vrstvy sendviče doléhají tlakové a tažné síly. Vnitřní vrstva pak musí udržovat stálou velikost průřezu a také čelit smykovému zatížení.

Co se týká materiálů jednotlivých složek, tak na vnější vrstvy se nejčastěji používají lamináty vyztužené uhlíkovými nebo skleněnými vlákny a pro některé účely i kovové folie. Prostor mezi oběma vnějšími vrstvami, tedy distanční vrstva, se může vyplnit buď lehkým dřevem, různými typy polymerních pěn (PVC, PU) a nebo, a to je nejčastější způsob, voštinami. Ty mohou být buď kovové nebo nekovové. Voštiny se ale dělí i podle dalších parametrů. Volíme je hlavně podle druhu použití. Mohou být buď ohebné, které se dají různě tvarovat dle požadavků (NOMEX) nebo pevné hliníkové. V neposlední řadě i tvaru jednotlivých buněk. Nejčastější typ buněk je hexagonální (tvarem podobný včelímu plástu, obr. 2.2.4), který se však příliš nehodí do konstrukcí s prolisy, nebo které jsou tvarované. Pro tyto účely jsou vhodnější voštiny se speciálním tvarem buněk, jako je obdélníkový či lasturovitý tvar. Pro náročnější tvary je však ideální jádro v podobě výše zmíněných pěn.



Obr. 2.2.4 *Sendvič vyplněný voštinou*

3 ANALÝZA POŽADAVKŮ KOMPOZITOVÉ DÍLNY

3.1 Základní požadavky

Pokud chceme realizovat prostory pro skladování a opravy kompozitních materiálů, jakožto i výuku dalších techniků, je nezbytně nutné dodržovat hlavně požadavky na bezpečnost a ochranu přítomných osob a zvláště, pokud se jedná o místnost, ve které se skladují chemikálie, a pracuje se s nimi. To znamená, vybavit dílnu minimálně jednou lékárníčkou s odpovídajícím vybavením a umístit do její blízkosti i základní pokyny při první pomoci. Také musíme pro všechny přítomné pracovníky zajistit sociální zařízení a umyvadla s patřičným vybavením. Dále umožnit dostačující odvětrávání místnosti a v případě operací způsobujících zvýšenou prašnost zajistit i odsávací zařízení. Zajistit vhodné pracovní prostředí ve všech ročních obdobích. To znamená vybavit místnost vytápěním, případně klimatizací a osvětlením zajišťujícím zrakovou pohodu po celou dobu pobytu v dílně. Jelikož se jedná o dílnu, kde bude probíhat i již zmiňovaná výuka budoucích techniků údržby letadel, tak dílnu vybavíme i velkým pracovním stolem s několika kusy nářadí pro jednoduché operace.

3.2 Požadavky na bezpečnost a ochranu zdraví

Bezpečnost a ochrana zdraví pracovníků je jeden z nejdůležitějších požadavků při plánování a vybavování jakéhokoliv pracoviště bez ohledu na zaměření vykonávané činnosti. Při plnění tohoto požadavku musíme vycházet z platných norem, vyhlášek a zákonů.

V ČR se touto problematikou zabývá nařízení vlády č. 101/2005 sb. ze dne 26. ledna 2005. Na studenty se při praktickém vyučování vztahují ustanovení zákoníku práce, která upravují pracovní dobu, bezpečnost a ochranu zdraví při práci, péči o zaměstnance a pracovní podmínky žen a mladistvých, a další předpisy o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci.

Pracoviště tedy musí být po dobu provozu udržováno dle tohoto nařízení technickými a organizačními opatřeními, splňujícími požadavky tohoto nařízení, ve stavu, který neohrožuje bezpečnost a zdraví osob. [1]

3.3 Požadavky na technické vybavení dílny

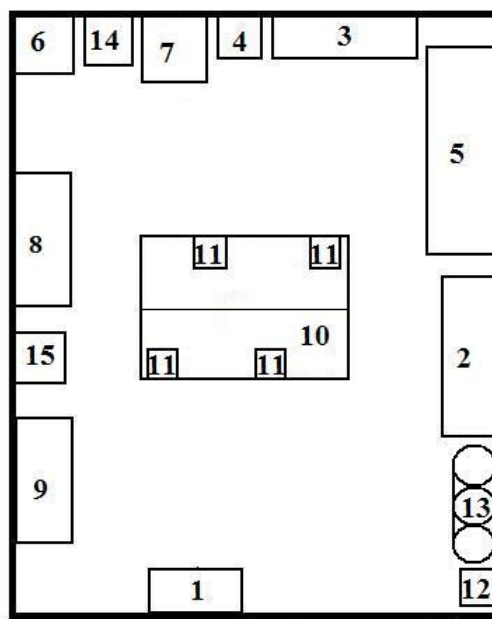
V této kapitole bude vypsáno technické vybavení kompozitové dílny, aby v ní mohla probíhat ucelená výuka a předávání cenných zkušeností z praktické stránky dané problematiky.

Kompozitová dílna je pojata jako místnost s velikým pracovním stolem uprostřed, na němž by se měly provádět veškeré ruční mechanické práce. Po obvodu stěny dílny je pak rozmístěn zbytek vybavení dílny.

Do dílny je nezbytné zavést přívod pitné vody a vytápění místnosti pomocí radiátorů. Dále elektrický proud pro osvětlení a napájení jak jednotlivých strojů, tak i nářadí. Zásuvky budou vhodně a v dostatečném počtu umístěny tak, aby se minimalizovala potřeba užívání prodlužovacích soustav, které by omezovaly volný pohyb po ploše. U osvětlení pro plánované vykonávané činnosti není třeba dbát na speciální zvýšení jasu. Postačí osvětlení z klasických zářivek umístěných rovnoměrně po místnosti s mírným upřednostněním na centrální pracovní stůl. V dílně je také třeba vyhovět požadavku na rozvod stlačeného vzduchu a přípojku pro ofukovací pistole na zbavování nečistot z výrobků po broušení.

3.3.1 Celkové rozvržení dílny

Prostor samotné dílny bude o rozměrech 5 x 7m.. Uspořádání jednotlivých hlavních částí je zobrazeno na schématu (obr. 3.3.1) na další straně.



- | | |
|----------------------------------|----------------------------|
| 1 ... Dokumentace + bezpečnost | 9 ... Stůl na dokumentaci |
| 2 ... Uložiště plechů/desek | 10 ... Velký pracovní stůl |
| 3 ... Mrazák | 11 ... Svěráky (4x) |
| 4 ... Lednice | 12 ... Umyvadlo |
| 5 ... Uložiště pro tkaniny | 13 ... Kontejnery (3x) |
| 6 ... Skříň s chemikáliemi | 14 ... Autokláv |
| 7 ... Vytvrzovací lampa | 15 ... Průmyslový odsávač |
| 8 ... Stůl s nářadím a přístroji | |

Obr. 3.3.1 Schéma rozvržení dílny

3.3.2 Popis vybavení dílny

Na spodní straně nákresu dílny (obr. 3.3.1) vidíme zvýrazněnou plochu. Ta nám znázorňuje vstup do dílny. Pro vměstnání objemnějších materiálů nebo zařízení je místo klasických dveří potřeba dvoukřídlový vstup nebo vysouvací vrata.

1. Skříň pro dokumentaci, ochranné a hygienické prostředky – Tento prostor pro technické výkresy výrobků, ale i dokumentaci k pořizovaným materiálům a nástrojům a strojům, má své místo hned nalevo od vstupu. Jedná se o 195cm vysokou skříň s dvoukřídlovými dveřmi a dvoubodovým uzamykáním, které je řešeno cylindrickým zámekem. Regály jsou přehledně označeny o skladbě uchovávaných dokumentů. Ve spodní části skříně bude umístěno ochranné vybavení, zásoby hygienických potřeb a budou zde

naskládány hadry jak flanelové, které jsou potřeba i při výrobě kompozitů (leštění povrchů), tak obvyčejné.

a) Ochranné vybavení:

V dílně se při realizaci výrobků bude pracovat s chemickými prostředky agresivními na pokožku. Bude zde připraveno dostatečné množství latexových rukavic. Na dílně se budou výrobky brousit a řezat. Zvláště při broušení vzniká vysoce prašné prostředí, proto je nutné poskytnout studentům a lektorům adekvátní ochranu očí. Ochranné brýle budou také součástí vybavení. Stejně tak i ochranné masky proti vdechování výparů jsou nezbytnou součástí. Zvláště některá lepidla, ředidla a další chemikálie se vyznačují vysoce dráždivým působením na lidský organismus.

b) Hygienické potřeby:

Tyto prostředky budou u umyvadel využívány jak na konci výuky, tak i během práce. Zásoby mýdel, čistících past a papírových ručníků, případně indulon budou kdykoliv k dispozici taktéž ve spodní části skříně.

2. Ukládací prostor pro materiál – Zde se budou ukládat hlavně pláty materiálů připravené k dalšímu použití. Jedná se o různé plechy a laminátové desky. Tyto materiály budou položeny vedle sebe vždy delší hranou dolů, což umožní úsporu prostoru. Celý tento stojan by měl být zakryt látkou, aby se na materiálech během broušení v dílně neusazoval nežádoucí prach

3. Mrazák – Je to součást nezbytně nutná k dlouhodobému uchovávání materiálů. Tyto materiály vykazují dlouhodobou životnost pouze v případě, pokud jsou uchovávány při teplotách pod bodem mrazu. Například prepregy je tedy možné skladovat téměř rok, aniž by došlo k jakékoliv degradaci vlastností, pro které jsou používány. U mrazáku se ovšem musí pravidelně kontrolovat teplota vně a vést se přesná dokumentace všech materiálů skladovaných uvnitř.

4. Lednice – V dílně plní podobnou funkci jako mrazák, tedy skladování materiálů. V tomto případě se jedná hlavně o pryskyřice, rovingy a další materiály, které se skladují při teplotách nižších než 20°C. Rovněž jako u mrazáku, tak i zde musíme v určitých periodách kontrolovat teplotu uvnitř.

5. **Skladování tkanin** – V dílně hned za stojanem s plechy a lamináty bude regál s navitými tkaninami všech druhů používaných během výroby kompozitů. Ty budou umístěny na tyčích od spoda nahoru. Opět kvůli úspoře prostoru. A stejně jako v případě ukládacího prostoru pro materiál, je třeba tyto tkaniny ze všech stran dostatečně chránit před prachem vzniklým broušením v dílně.

6. **Skladování toxických látek** – Nejdál od vchodu do dílny se bude nacházet bezpečnostní skříň pro ukládání toxických látek. Tato skříň je vybavena bezpečnostním tříbodovým zámekem s otočnou rukojetí a v horní části skříně je odsávání. Tyto bezpečnostní skříně se používají na všech specializovaných pracovištích, pokud se jedná o práce s agresivními chemikáliemi a jedy. Pro předpokládaný rozsah prací v naší budoucí dílně však není třeba velké množství tak agresivních látek, proto v součtu můžeme tuto skříň uvažovat, nicméně vzhledem k velmi vysokým pořizovacím cenám jí v projektu lze vynechat a nebo nahradit skříní pro chemikálie, která ovšem nesplňuje tak náročná kritéria, čemuž odpovídá i výrazně nižší pořizovací cena.

7. **Vytvrzovací lampa** – Na pozici 7 se na nákresu nachází místo pro pojízdnou vytvrzovací lampu. Toto zařízení má v dílně za úkol vyzařovat teplo vyžadované pro vytvrzování kompozitních materiálů. Lampa se skládá z jednoho silného infračerveného emitru nebo-li vyzařovače, který je schopen bez problému vytvrdit oblast 406x203 mm. Nabízí tak možnost urychleného vytvrzování materiálů při lepení, a to jak při výrobě tak i opravách.

8. **Skladování nářadí** - U levé stěny dílny poblíž velkého pracovního stolu umístíme skříň, která bude sloužit pro ukládání speciální výbavy dílny:

a) Sada nářadí pro opravu kompozitů:

Nejucelenější sada nástrojů potřebných pro opravy kompozitů jakož i pro jejich samotnou výrobu se zaměřením na letectví. Sada obsahuje vrtačku s příslušenstvím, brusky s příslušenstvím, několik druhů kleští, vyřezávací nože a další potřebné nástroje.

b) Doplňkový kufřík pro sadu:

Jedná se o další kufřík s nástrojovou podporou sadě uvedené výše. Tento kufřík tedy obsahuje několik druhů výstružníků, fréz, vrtáků, či dalších nožů.

c) Svěrky:

Několik svorek různých velikostí bude potřeba hlavně při manuálním lepení dvou materiálů bez použití vytvrzovacích technologií, jako jsou vytvrzovací lampy nebo vytvrzování ve vakuu.

d) Konzole pro pokročilé lepení kompozitů:

Jedná se o zařízení Anita. Je to univerzální vybavení pro pokročilé lepení kompozitních konstrukcí jak při výrobě, tak při údržbě, které je uznáváno všemi předními leteckými výrobci. Poměrně malý přenosný kufřík nabízí všechny nezbytné funkce k řízení vytvrzování spojovaných ploch ve vakuu. Základ Anity jsou 3 pracovní kanály. Dva nezávislé jsou pro zajištění zdroje tepla, třetí pak pro kompenzaci tepelné ztráty na obalu nebo kolem náplasti vytvrzované plochy. Pro snadné ovládání a kontrolu probíhajících procesů (graficky, tabulkově) je přístroj vybaven dotykovým displejem s malou tiskárnou pro okamžité tisknutí průběhu práce celého přístroje. Samotné vytvrzování lepidel pomocí vyvíjení tepla je realizováno ve vakuovém sáčku pomocí tepelných deček různých menších či větších tvarů (záleží na vytvrzované ploše). Je však možné vytvrzovat plochy o rozměrech až 1 m^2 . Tepelná dečka se pomocí kabelů připojí k přístroji a následně položí mezi několik dalších vrstev speciálních fólií, vatelínů a separačních tkanin nad vytvrzované místo. Všechny tyto vrstvy se překryjí vakuovací fólií a utěsní vakuovací páskou. Poté dochází k zahřívání dečky na určitou teplotu po požadovanou dobu. Tato doba se pohybuje od jedné do několika hodin.

Bez použití této technologie probíhá vytvrzování i několik dní. Výrazně se tak všechny operace urychlují.

e) Šavlová pila:

Tento druh pily upotřebíme hlavně při tvarování výrobků podle tvarové šablony po vyndání z formy na čistší rozměr.

f) Lepicí pásy:

Lepicí pásy jsou důležité at' už pro dočasné spojování materiálů, tak i při samotné výrobě kompozitních materiálů. Využíváme klasické i univerzální s různými šířkami. Další dělení námi používaných je na klasické a oboustranné

g) Ofukovací pistole + pneumatická hadice:

Pro ofukování, a tedy zbavování prachu z výrobku po broušení, a profukování špatně přístupných míst budeme v dílně používat stlačený vzduch. K rozvodu, přes 5m dlouhou spirálovou pneumatickou hadici, připojíme ofukovací pistoli.

h) Vakuová pumpa – Používá se pro vytvoření vakua v soustavách výroby kompozitů pomocí vakuačních fólií. V našem případě u předlohy č.1

9. Stůl na dokumentaci – Vedle skříně s dokumentací a ochrannými prostředky je umístěn stůl, na kterém se bude provádět analýza dokumentace každého výrobku lektora se studenty a poté, v průběhu práce, bude všechna dokumentace vztahující se ke konkrétnímu výrobku umístěna a poskytnuta k nahlédnutí právě tady. Jedná se o klasický stůl s jednou spojnici mezi nohami.

10. Pracovní stůl – Je to jedna z nejdůležitějších částí celé dílny. Na tomto stole budou probíhat veškeré manuální práce, proto je třeba zajistit co největší pracovní plochu, avšak zároveň pamatovat na omezenou velikost dílny. Je důležité, aby byl v dílně za všech okolností zajištěn bezproblémový pohyb. Pro optimální rozměry uzpůsobené dílně jsem tedy zvolil dva totožné stoly, které budou ve spodní části obou zadních nohou přichyceny k sobě. Utvoří tedy jednu velkou pracovní plochu.

Jedná se o stoly s rozměry (mm):

Délka – 2000

Výška – 830

Hloubka – 700, po spojení k sobě 1400

Každý stůl je vybaven spodní policí a v pravé části tří-zásuvkovým kontejnerem. Na spodních policích bude uložena forma pro výrobu plováku a speciální stojan tvarově uzpůsobený rozměrům polotovaru pro následné opracování. V zásuvkových uzamykatelných kontejnerech pak bude uloženo základní dílenské nářadí pro každého studenta a ve spodní části hadry.

Základní nářadí a vybavení kompozitové dílny:

- a) Sada pilníků
- b) Sada jehlových pilníků
- c) Kladivo
- d) Nylonová palička s vyměnitelnými úderníky
- e) Ocelové pravítko
- f) Svinovací metr (2m)
- g) Lajnovací fix, lihový fix
- h) Rýhované válečky na vytlačení vzduchových bublin pryskyřic
- i) Podložky na čelisti svěráku
- j) Radiusové měrky (1-7mm; 7,5-15mm; 15,5-25mm)

11. **Svěráky** – Dodatečně umístíme právě na oba velké pracovní stoly. Celkem 4 kusy na každý stůl 2. Postačují klasické zámečnické, šířka čelistí 100mm s maximálním rozevřením 90mm.

12. **Umyvadlo** – Po příchodu do dílny se nachází po pravé ruce. U umyvadla i dávkovač papírových ručníků.

13. **Kontejnery** – Mezi umyvadlo a ukládací prostor pro materiál (mezi pozice 2 a 13 na obr. 3.3.1) vměstnáme 3 mobilní kontejnery. Na komunální odpad. Na znečištěné a mastné hadry a na plechovky od pryskyřic, ředidel, apod. Jedná se pouze o plastovou konstrukci na kolečkách a ve vrchní části s madlem a obručí pro přichycení pytle. Pytle o obsahu 100l.

14. **Autokláv** – V letectví a při práci s kompozity vůbec, je autokláv velice oblíbeným přístrojem. Jedná se o zařízení konstruované pro reakce za vysoké teploty a tlaku. Používá se pro vytvrzování materiálů pomocí sterilizace, které tak trvá jen několik desítek minut. Autokláv je však i přes všechny své přednosti velice drahé zařízení. Na zatím plánované operace v naší dílně není úplně třeba tak drahého zařízení. Osvojení práce s autoklávem by ale jistě pro studenty bylo velice přínosné i do další praxe. V naší kompozitové dílně bychom si vystačili s poloautomatickým stolním autoklávem s rozměry vytvrzovací pece 254x475mm. Umístěn by byl v zadní části dílny vedle dalšího

možného zařízení pro urychlování vytvrzování kompozitů – infračervené vytvrzovací lampy.

15. **Odsávač prachu** – Jak již bylo několikrát zmíněno, při výrobě kompozitních materiálů jsou procesy, při kterých vzniká zvýšené množství prachu a nečistot. Pouhé větrání místnosti pak není dostačující. Pro tyto případy je třeba vybavit dílnu, když ne celou soustavou odvětrávání, průmyslovým odsávačem prachu. Vzhledem k rozměrům zamýšlených výrobků bude stačit zvolený mobilní druh s kapacitou odsávání 1 150m³/h a průměrem sacího hrdla 100mm

4 PŘÍPRAVA NÁPLNĚ PRAKTICKÝCH CVIČENÍ

4.1 Všeobecný popis cvičení

Celé praktické cvičení studentů bakalářského oboru Technologie údržby letecké techniky, na Ústavu letecké dopravy (dále jen ÚLD) VŠB-TUO, v kompozitové dílně bude probíhat na letišti Mošnov, kde má ÚLD ve veřejně přístupné zóně letiště, své prostory. Celý výcvik bude probíhat v předem stanovených časech a v souladu s výukou na VŠB-TUO. Cílem cvičení bude seznámit studenty s kompozitními materiály, jejich vlastnostmi a stále častějším využitím v technickém světě. Hlavní náplní těchto cvičení však bude osvojení praktik při výrobě celků z kompozitních materiálů a tím pádem i seznámení s jednotlivými, dosud ve výuce chybějícími, výrobními postupy, např. při laminování, lepení nebo vytvrzování dvou a více materiálů.

4.2 Popis předloh

Jedním z cílů bakalářské práce je připravit několik vzorových kompozitových výrobků, které budou sloužit studentům jako předlohy k jejich pracím v kompozitové dílně. Navrhl jsem pro tento účel 3 předlohy. Předlohy záměrně nejsou příliš tvarově složité, aby byly vhodné i pro studenty našeho ústavu, kteří se dosud s dílenskými pracemi a postupy setkávali jen zřídka. Předlohy jsou odstupňovány dle výrobní obtížnosti a nabídnou procvičení několika výrobních procesů. Laminování, lepení, vytvrzování, vrtání, řezání nebo broušení patří mezi hlavní. Všechny tři předlohy by po

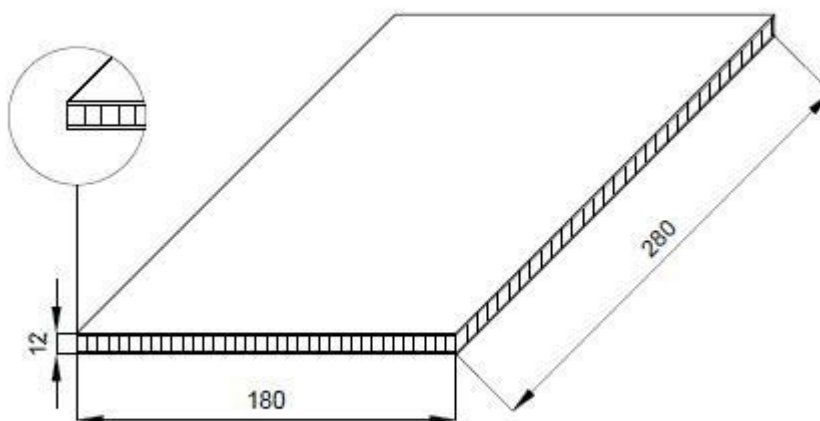
dovršení všech výrobních procesů mely být plně funkční a připraveny k běžnému užívání, nebo připraveny pro další úpravy a zpracování. Ovšem již mimo technickou dostupnost naší kompozitové dílny.

4.2.1 Základní prvek brankařské vyrážačky

První, a zároveň výrobně nejméně obtížná předloha, je navržena do části sportovní výstroje. Konkrétně se jedná o hokejovou vyrážačku, která patří mezi základní prvky brankářské výstroje. Do tohoto sportovního vybavení se bude v dílně vyrábět jeho úplný základ, a totiž deska, která plní účel ochrany ruky gólmana a svým tvarem zapříčiňuje odraz puků letících na bránu. Kompozitní materiály se vyznačují vysokou pevností při nízkých hmotnostech. Proto je při úvaze o vysoké hmotnosti celkové výbavy brankáře volba kompozitu jako desky pro vyrážačku optimální řešením. Konstrukce desky bude sendvičová. Vnitřní a vnější vrstva sendviče bude vyráběna moderní technologií LETOXIT Foil Technology patentovanou firmou 5M s.r.o.

- Potahy – tkanina ze skleněných vláken + LETOXIT® LFX
- Jádro – voština (Nomex)

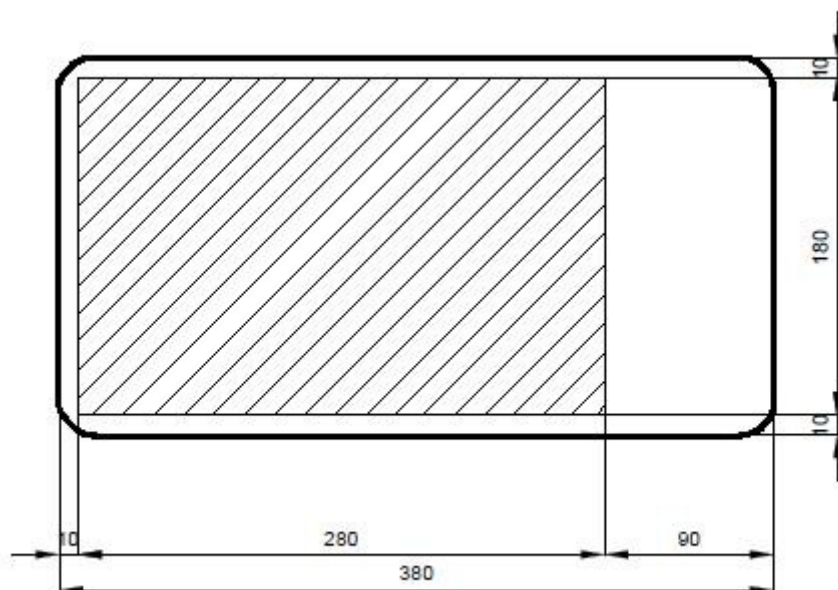
Pro ilustraci celé předlohy nabízím dva nákresy desky.



Obr. 4.2.1a Nákres sendvičové desky

Hokejová vyrážačka musí splňovat přísné rozměrové normy, proto i deska uvnitř má své přesné parametry. Rozměry námi vyráběných desek jsou menší než samotná vyrážačka, protože je třeba je obklopit odolnou syntetickou kůží. Přibližný nákres

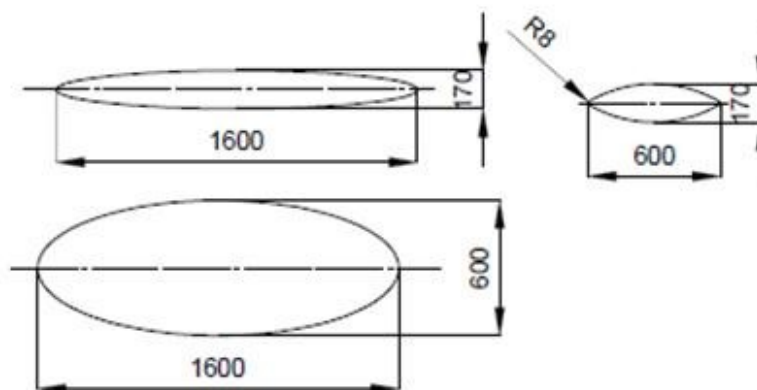
vyrážecí z horního pohledu i s jejími rozměry je na následujícím obrázku. Samotná deska je označena šrafy.



Obr. 4.2.1b Náčrtes desky ve vyrážecí

4.2.2 Plovák

Druhá předloha je dětský plovák do vody vzdáleně připomínající surf. Na rozdíl od první předlohy je jeho podoba, která vzejde z dílny, již uzpůsobena klasickému používání. Základem plováku bude polyuretanové pěnové jádro. Plášť pak bude kombinací skleněných vláken a epoxidové pryskyřice.



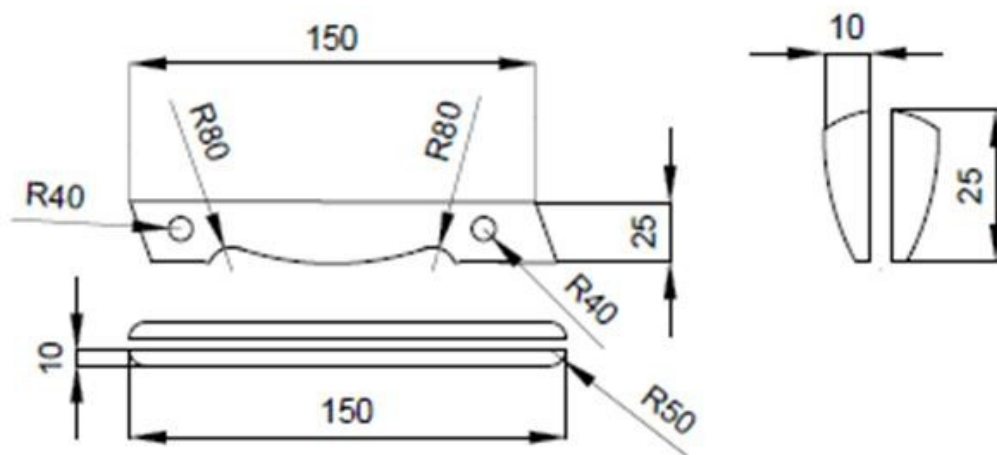
Obr. 4.2.2 Náčrtes plováku

Na nákresu si všimněme především relativně velkých rozměrů. Tento výrobek proto bude vyráběn pouze po jednom kuse několikačlennou skupinou studentů. Dílna pro výrobu několika plováků naráz nedisponuje dostatečným prostorem, další výhodou tohoto řešení je bezesporu i úspora materiálu.

4.2.3 Rukojeť nože

Třetí, a zároveň na výrobu nejsložitější předlohou, je výroba rukojeti pro přibližně 30cm dlouhý nůž. V podstatě se jedná o dva symetrické výrobky, které po závěrečné montáži s ocelovou částí nože utvoří rukojeť jako celek. Finální výrobek se tedy, stejně jako v případě předlohy č. 1, nebude dát používat ke svému plnému účelu.

Příslušný nákres (obr. 4.2.3) není vytvořen v jednotném měřítku.



Obr. 4.2.3 Nákres rukojetí nože

Výroba se v dílně bude realizovat pomocí formy na vytvoření jádra a laminace za použití emulzních rohoží ze sekaných skelných vláken a epoxidové pryskyřice.

5 TECHNOLOGICKÉ POSTUPY K VÝROBĚ PŘEDLOH

5.1 Výroba forem

Základem výroby každého kompozitu je forma a základem každé formy je model. Formy mají ve výrobě kompozitů poměrně dlouhou životnost. Některé formy slouží v sériových výrobach i pro několik tisíc výrobků. V naší dílně se k takovému počtu výrobků patrně ani nepřiblížíme, nicméně forma je důležitá i v naší výrobě. Je vytvarována v přibližném tvaru finálního výrobku, aby pak nebylo potřeba dalších náročných obráběcích operací, a neobejdou se bez ní zvláště předlohy č. 2 a č. 3. Mezi první činnosti v kompozitové dílně se tak zařadí výroba patřičných forem a jejich modelů.

Model - Jako materiál slouží dřevo a překližka, modelářské hlíny, tuhé pěny a tmely, případně pro povrchové vyztužení také tenší laminát. Po dokonalém zpracování tvaru je nutno model tepelně stabilizovat na teplotu, které bude model při výrobě formy vystaven, povrchově upravit např. polyuretanovými laky nebo polyesterovým topcoatem, speciálními tmely vytvořit dělicí a ořezové roviny, v případě vícedílných forem dělicí roviny opatřit čepy nebo průchodkami pro přesné usazení forem a důkladně naseparovat. [2]

Forma – Materiál pro výrobu volíme dle četnosti následného využívání. Pro prototypy, které se téměř vždy vyrobí ručním kladením, se užívá speciální sádra, dřevo, pěny nebo tmely. Výrobní formy pro ruční a injektážní technologie se zhotovují většinou z laminátu případně v kombinaci s pěny nebo balzou a dalšími sendvičovými materiály.

Prvním, velmi důležitým krokem, je aplikace formového **gelcoatu** (materiál vhodný na povrchovou úpravu formy, je to upravená pryskyřice nanášená na formu v tekutém stavu) na naseparovaný model. Na kvalitě povrchu modelu, výběru a pečlivé aplikaci formového gelcoatu závisí kvalita povrchu formy a její životnost. Aby se snížilo vnitřní pnutí a smrštění a tedy i změna rozměrů formy je třeba při stavbě konstrukční části formy postupovat po dílčích krocích, nejprve na vytvrzený formový gelcoat klást jednu, nejvýš dvě vrstvy kvalitní rohože o gramáži 225-450 g/m² a prosytit pečlivě pryskyřicí s co nejnižším smrštěním včetně odstranění vzduchových bublin. Teprve druhý den po vytvrzení prvních vrstev lze klást další konstrukční vrstvy, nejlépe opět s prodlevami na vytvrzení vrstev předchozích. Výroba formy je tak relativně časově náročnou operací. Před uvedením nových forem do provozu je nutno je opatřit spolehlivým separátorem buď na

bázi tvrdých karnaubských vosků nebo kapalnými semipermanentními bezsilikonovými separátory. Kvalitních separátorů je velký výběr, důležité je přesně dodržovat návod výrobce pro aplikaci na nové formy. [2]

5.2 Deska

Jedná se o sendvičovou konstrukci desky tvořící základní pilíř vyražečky v hokejové výstroji. Deska je široká 180mm a dlouhá 280mm. Vnitřní a vnější potah sendviče je vyroben speciální technologií suchého laminování společnosti 5M s.r.o. Hlavními složkami potahu je tedy fóliová epoxidová pryskyřice a tkanina skleněných vláken. Jádrem je tvořeno voštinou z Nomexu. Tloušťka panelu je 7mm, průměr opsané kružnice buňky je 6mm. Zvolená fóliová pryskyřice vnitřního potahu je LETOXIT® LFX 044, která vyniká vysokou rázovou houževnatostí. 12 vrstev skleněné tkaniny je proloženo pěti vrstvami fóliové pryskyřice. Stejný počet u vnějšího potahu.

5.2.1 Postup výroby

1. **Příprava materiálu** – Na pracovní stůl vyskládat všechny vrstvy potřebné ke slepení a vytvrzení kompozitu. Všechny folie nastříhat či nařezat. Větší rozměry než výsledná deska (kromě fólií a tkanin tvořících potahy sendviče).
2. **Forma** – V tomto případě se jedná spíše o podložku z vhodného materiálu (běžné materiály pro formy). Nejprve natřít gelcoatem. Nechat působit při pokojové teplotě. Až je gelcoat v netekutém stavu, ale mírně lepkavý, pokračovat dále.
3. **Oboustranná těsnicí páska** – Přilepit na formu o několik centimetrů dál podél celé budoucí sendvičové desky.
4. **Kladení vrstev desky** – První vrstva, do středu obdélníku vytvořeného páskou, je výztuž. Z fóliové pryskyřice se strhne krycí papír a díl pryskyřice se přiloží na horní vrstvu výztuže. Pak se strhne polyetylenová fólie na druhé straně pryskyřice a na ní se přiloží další vrstva výztuže. Potahové vrstvy klást ve stanoveném pořadí:
 - 1) 2x výztuž (0,14mm) – 1x LFX 044 (0,1mm)
 - 2) 3x výztuž (0,14mm) – 1x LFX 044 (0,3mm)
 - 3) 3x výztuž (0,14mm) - 1x LFX 044 (0,3mm)

4) 2x výztuž (0,14mm) – 1x LFX 044 (0,1mm)

5) 2x výztuž (0,14mm) – 1x LFX 044 (0,1mm)

Stejný postup, ale v opačném pořadí (od bodu 5 k bodu 1) klást i v případě vnějšího potahu.

Každá další vrstva tkaniny výztuže je kladena v pootočeném stavu o 45°.

5. **Voština** – Dále, přesně dle rozměrů seříznutá voština Nomex, položena na poslední vrstvu pryskyřice LFX 044.
6. **Další vrstvy** – Na poslední vrstvu výztuže položit odtrhovou vrstvu. Na ní perforovaná fólie, poté odsávací tkanina. Všechny tyto vrstvy jsou větší než budoucí deska, ale menší než obvod vytvořený páskou.
7. **Zdroj tepla** – Vytvrzování pomocí soustavy vytvrzovací dečky a zařízení Anita. Vhodnou dečku (přibližná velikost výrobku) na dosud položené vrstvy a spojit s Anitou. Do soustavy vložit termočlánek též propojený s Anitou pro kontrolu a případnou regulaci teploty uvnitř vaku.
8. **Vakuový vak** – Nakonec se do prostoru mimo lepenou konstrukci umístí vakuový konektor, celé překryje vakuovací fólií a pečlivě přelepí těsnící páskou, na konektor a vstup se napojí vakuová hadice k vakuové pumpě.
9. **Odsávání** – Ze složené kompozice se evakuuje vzduch pod vakuem. Požadovaný tlak je 0,075 – 0,09 MPa. Pro dosažení požadované hodnoty tlaku ve všech místech nechat delší dobu působit.
10. **Vytvrzování** – Za zvýšených teplot (120 – 125°C) pomocí vytvrzovací dečky o dobu 60 minut.
11. **Finální úpravy** – Po procesu vytvrzování vyjmout výrobek a provést finální estetické úpravy.

5.3 Plovák

Jádrem plováku bude vytvrzená polyuretanová pěna. Vnější složka pak laminát ze skleněných vláken a epoxidové pryskyřice. Na výrobu plováku jsou potřeba 2 totožné formy (nebo jedna používaná opakovaně). Ideální materiál pro jádro plováku je

dvousložková polyuretanová pěna PU630/PH4. Pro laminování zvolíme skleněnou tkaninu 280g/m² kepr 2/2 Interglass a epoxidovou pryskyřici L285 s tužidlem H500.

5.3.1 Postup výroby

1. **Úprava formy** – Před použitím do vnitřku kompozitové formy flanelovým hadrem rozetřít separační vosk. Poté houbičkou několik vrstev separátoru PVA proti přilepení pěny na formu
2. **Příprava PUR pěny** – Do několika plastových nádobek odlít pryskyřici PU630 a tvrdidlo PH4 stejného množství (poměr míchání 100:100)
3. **Plnění formy** – Pryskyřici a tvrdidlo slít a rychle promíchat (zpracovatelnost pouze 20 až 30 sekund), následně přiměřeným množstvím (objemově expanduje 8x až 10x) polít ve více lidech stěny formy a ihned uzavřít. Při expanzi v uzavřené formě vzrůstá tlak. Třeba víko s formou přichytit několika svěrkami po obvodu formy. Takto nechat pod působením tepla přibližně hodinu vytvrdit.
4. **Vyndání z formy** – V případě obtíží při oddělování polotovaru z formy podlít polotovar vodou (působení separátoru). Poté nechat polotovar 15 hodin dotvrdit. Totožný postup opakovat pro vytvoření druhé poloviny jádra/polotovaru
5. **Stringer** – Musí mít přesný rozměr polotovaru vytvrzeného ve formě. Potřeba vyrobít. Velmi tenký podélník ze dřeva. Vlepi se mezi obě poloviny jádra. Pod tlakem svěrek nechat vytvrdit. Stringer poskytuje tuhost a brání rozpadnutí.
6. **Opracování jádra** – Pomocí šablony obkreslit finální tvar plováku a toho pomocí přímočaré pily, elektrickým hoblíkem a bruskou docílit. Nakonec stlačeným vzduchem očistit od vzniklého prachu.
7. **Laminování** – Jádro postavit na speciální dřevěný stojan umožňující volný přístup na všechny záhyby jedné strany polotovaru. Na jádro položit první vrstvu skleněné tkaniny, je třeba nechat přesahy jako rezervu. Pryskyřici promíchat s katalyzátorem pro rychlejší tvrdnutí a gumovou stěrkou od shora plováku pečlivě rozetřít první vrstvu po tkanině a nechat vytvrdit. Pro urychlení je možno použít mírné zahřívání pomocí infračervené lampy Trisk. Poté se plovák otočí a proces se stále opakuje až do vytvrzení 3. vrstvy z obou stran. Každá další vrstva tkaniny se při kladení pootáčí o 45°. Nakonec se nanese speciální vrstva pryskyřice s voskem pro vyplnění nekompletních míst

8. **Finální úpravy** – Bruskou odstranit přebytky pryskyřice, dobrousit ručně. 12 hodin ponechat pro definitivní vytvrzení. Opět možno urychlit lampou Trisk.

5.4 Rukojeť nože

Výroba rukojeti nože v naší dílně končí dvěma výrobky posléze spolu s ocelí nože spojenými v jeden objekt. Jádro třetí předlohy ale bude vyrobeno stejným postupem jako jádro plováku, tedy vytvrzením dvousložkové polyuretanové pěny PU630/PH4 ve formě. Formy budou potřeba dvě. Pro následné laminování zvolíme polyesterovou pryskyřici v poměru 100:2 s peroxidem Butanox M50, která bude prosycovat emulzní rohože ES 22-6 ze sekaných skelných vláken. Ty jsou vyráběny z neorientovaných skelných pramenů o délce 50mm spojených emulzním pojivem na bázi PVA.

5.4.1 Postup výroby

1. **Úprava formy** - Před použitím do vnitřku kompozitové formy flanelovým hadrem rozetřít separační vosk. Poté houbičkou několik vrstev separátoru PVA proti přilepení pěny na formu
2. **Příprava PUR pěny** – Do jedné plastové nádoby nalijeme přibližně 20ml pryskyřici PU630, do druhé stejné množství tvrdidla PH4
3. **Plnění formy** - Pryskyřici a tvrdidlo slít a rychle promíchat (zpracovatelnost pouze 20 až 30 sekund). Při expanzi v uzavřené formě vzrůstá tlak. Je třeba víko s formou přichytit dvěma malými svěrkami na každé straně formy. Takto nechat pod působením tepla přibližně hodinu vytvrdit.
4. **Vyndání z formy** - V případě obtíží při oddělování polotovaru z formy podlít polotovar vodou (působení separátoru). Poté nechat polotovar 15 hodin dotvrdit. Stejnou operaci provést i s druhým polotovarem - druhou polovinou rukojeti nože.
5. **Opracování jádra** – Vytvrzený polotovar pilou, pilníky a brusnými papíry opracovat do finální podoby dle výkresu (pouze tvar, nikoliv díry). Nakonec stlačeným vzduchem očistit od vzniklého prachu.
6. **Laminování** – Jádro postavit na speciálně upravené dřevěné stojánky pro snadný přístup ke všem záhybům jádra. Položit na jádro první vrstvu emulzní rohože, je třeba nechat přesahy jako rezervu. Poté malým štětcem aplikovat polyesterovou pryskyřici, smíchanou s peroxidem, od vrchu jádra dolů a nechat

vytvdřit. Pro urychlení je možno použít lampu Trisk. Polotovar otočit a provést stejnou operaci. Takto vytvoříme 3 vrstvy, z nichž každá bude kladena o 45° vzhledem k předchozí.

7. **Finální úpravy po laminaci** - Bruskou odstranit přebytky pryskyřice, dobrousit ručně. 12 hodin ponechat pro definitivní vytvrzení. Opět možno urychlit lampu Trisk. Všechny předešlé body aplikovat i na druhou formu a druhou část rukojeti.
8. **Vrtání** – Podle výkresu naměřit a fixem vykreslit středy montážních otvorů. Obě rukojeti k sobě, alespoň na dvou místech, připevnit samolepící páskou, položit na 20mm široké dřevo a pevně upnout do strojního svěráku. Vrtat od nejmenších vrtáků po průměr 6,3mm. Poté na jedné straně vyhloubit otvor pro zápusťnou hlavu šroubu, na druhé straně vyhloubit otvor pro válcovou matici s drážkou. Stlačeným vzduchem odstranit špony, odlepit pásku a očistit obě poloviny rukojeti nože.

5.5 Časový harmonogram práce

Časový harmonogram pro výrobu všech tří výrobků zahrnuje i doby potřebné pro vytvrzování pryskyřic a lepidel, během kterých je možno provádět a připravovat si další činnosti. Konečný a přesný časový harmonogram závisí jak na rozvržení celkové práce při prodlevách, ale i na ohledu, zda budeme pro výrobu kompozitů využívat pouze okolní teploty v místnosti, nebo i pomocných vytvrzovacích zařízení, kterými dosáhneme vytvrzení pryskyřic a lepidel rychleji, a kterými může být dílna vybavena. Jedná se především o infračervenou lampu a autokláv. Třeba ale podotknout, že pořizovací náklady obou druhů urychlovačů jsou velice nákladné. Pohybují se v hodnotách desítek tisíc korun.

| Předloha | Doba práce bez urychlovačů | Doba práce s urychlovači |
|---------------|----------------------------|--------------------------|
| Deska | 7 hodin | 7 hodin |
| Plovák | 42 hodin | 17 hodin |
| Rukojeť | 44 hodin | 14 hodin |
| celkem | 93 | 38 |

Obr. 5.5 Časový harmonogram práce

6 CENOVÁ KALKULACE NÁKUPU VYBAVENÍ A MATERIÁLŮ

6.1 Kalkulace vybavení, strojů a nářadí

Při přípravě cenové kalkulace vybavení dílny budu postupovat ve stejném pořadí jako při popisu analýzy požadavků (*podkapitola 3.3.2*) s tím, že vždy bude uveden název dílu, základní popis, příp. obrázek pro ilustraci, a pořizovací cena dílu. Všechny uvedené ceny jsou vč. DPH.

1. Spisová skříň SPS 01A

- 4x police s plošnou nosností 60 kg; Rozměry: 1950x950x400
- Cena: **4 538 Kč**



Obr. 6.1a Spisová skříň

Latexové rukavice:

- Balení po 100 kusech
- Cena: **217 Kč**

Ochranné brýle (10ks):

- Možnost nasazení na dioptrické brýle
- Cena: **20 Kč/kus**

Respirátor (10ks):

- Proti pevným částicím a kapalným aerosolům
- Cena: **12 Kč/kus**

2. Regál na pláty

Tato část vybavení nebude započítána do cenové kalkulace. V tomto případě upřednostníme jednoduchost a účelnost před kvalitou – Prostá, přesto účelná, konstrukce regálu se dá na míru lehce vyrobit z několika svařených tyčí.

3. Mrazák Electrolux EC5231AOW

- Typ truhlicový; Rozměry š/v/h: 1600/880/670 mm
- Cena: **11 499 Kč**



Obr. 6.1b Truhlicový mrazák

4. Lednice Zanussi ZRA226CWO

- Jednodveřová konstrukce; Rozměry: 1440x550x570 mm
- Cena: **6 272 Kč**

5. Konzolový regál na tkaniny

- Jednostranné provedení; Rozteč mezi rameny 70 mm
- Cena: **2 380 Kč**



Obr. 6.1c Jednostranný regál

6. Skříň na chemikálie KS/CH01/A3

- Kovová konstrukce; Křídlové dveře; 5x záchytná vana; Rozměry: 1950/920/400 mm
- Cena: **8 107 Kč**

7. Lampa Trisk HotSpot HS04

- Jedna silná IR emitor; Vytvrzovací oblast: 406x203 mm
- Cena: **19 870 Kč**



Obr. 6.1d Vytvrzovací lampa Trisk

8. Skříň pro nářadí SK1-001

- Velký prostor; Křídlové dveře; Nosnost: 600 kg; Rozměry: 1950x1044x625 mm
- Cena: **8 554 Kč**

Sada nářadí pro opravy kompozitů Heatcon HCS2036-05:

- Přenosný kufřík s vrtačkou, bruskami, kleštěmi, noži, stěrkami, nástavci; Pneumatický pohon
- Cena: přibližně **30 000 Kč**



Obr. 6.1e Sada nářadí Heatcon

Svěrky (10ks):

- Různé velikosti, Typu C, typu F
- Cena: **2000 Kč**

Anita EZ09:

- 3 pracovní kanály; Dotykový displej
- Cena: přibližně **55 000 Kč**



Obr. 6.1f Anita EZ09

Šavlová pila DWT SS-500 VS:

- Výkon motoru 500W; Hmotnost 2,30 kg; Vhodné na kovy, plasty, dřevo
- Cena: **1 654 Kč**



Obr. 6.1g Šavlová pila

Lepící pásky (3ks):

- Jednostranné, oboustranné, těsnící
- Cena: **1 100 Kč**

Ofukovací pistole Hymair ABG-04 + 5m spirálová hadice

- Tlak vzduchu: 2 – 15 bar; Hadice: rychlospojka a zástrčka
- Cena: **270 Kč**



Obr. 6.1h *Ofukovací pistole*

Vakuová pumpa VALUE VE225N:

- Výkon 4,3 m³/hod.; Obsah oleje: 200 ml
- Cena: **5 191 Kč**



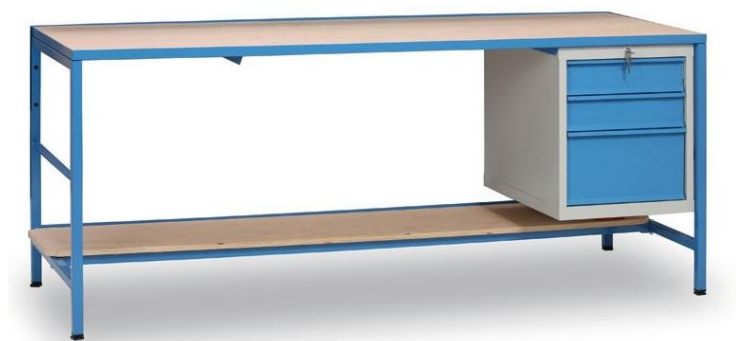
Obr. 6.1i *Vývěva*

9. Stůl na dokumentaci

- Není třeba pořizovat drahý stůl větších rozměrů. Postačí jedna či dvě školní lavice.

10. Pracovní stůl (2ks)

- Spodní police; 3.zásuvkový kontejner; Rozměry d/h/v: 2000x700x830 mm
- Cena: **11 943 Kč/kus**



Obr. 6.1j *Pracovní stůl*

Sada pilníků (4ks) + sada jehlových pilníků (4ks):

- Sada pilníků: kruhový, obdélníkový, plochý zúžený; Délka čepele: 150 mm
- Sada jehlových pilníků: Délka 150mm; 6 ks základních jehlových pilníků
- Cena: **1 320 Kč**

Nylonová palička YT-4633 (4ks):

- Vyměnitelné úderníky; Délka: 350 mm
- Cena: **137 Kč/kus**



Obr. 6.1k *Nylonová palička*

Ocelové měřítko (4ks):

- Ohebné; Laserový popis
- Cena: **420 Kč/kus**

Svinovací metr Stanley 3m (2ks):

- Cena: **51 Kč/kus**

Rádusové měrky (4ks):

- Sada: velikosti 1-7mm; 7,5-15mm; 15,5-25mm
- Cena: **825 Kč/kus**

11. Svěrák York Standard (4ks)

- Šířka čelistí: 100 mm; Délka upnutí: 90 mm
- Cena: **1 610 Kč/kus**

12. Umyvadlo 15601

- Závěsné keramické; Rozměry: 600x480 mm
- Cena: **385 Kč/kus**

13. Kontejnery (3ks)

- Mobilní; Odpad: komunální odpad, znečištěné hadry, prázdné plechovky; Obsah pytlů: 100 l
- Cena: **700 Kč/kus**



Obr. 6.11 Kontejner

14. Autokláv Tuttnauer 2340MK

- Poloautomatický stolní autokláv se zrychleným sterilizačním cyklem
- Objem: 19litrů; Rozměry komory: 230x470 mm;
- Rozměry přístroje: 508x362x550mm
- Cena: **63 000 Kč**



Obr. 6.1m Autokláv

15. Průmyslový odsávač KDR 801

- Mobilní; Příkon: 550W; Odsávací kapacita: 1150 m³/hod.; Hmotnost: 29 kg
- Cena: **5 082 Kč**



Obr. 6.1n Průmyslový odsávač

Celkem vybavení: 264 981 Kč

6.2 Kalkulace materiálu pro výrobu předloh

6.2.1 Kalkulace desky

Gelcoat:

- 250g; Bílá barva
- Cena: **483 Kč**

Fóliová pryskyřice:

- Heatcon; LETOXIT® LFX 044
- Cena: **115 Kč/m²**

Skleněná tkanina:

- Havel-composites; 163g/m³ Interglas 92110, kepr 2/2
- Cena: **1 800 Kč/20m²**

Voština:

- Nomex; Rozměry: 1,22x2,45 m
- Cena: **3 742 Kč**

Vytvrzovací dečka:

- Rozměry: 30x30cm
- Cena: **4 351 Kč**

Těsnící páska:

- Rozměry: 12,7 mm x 7,6 m
- Cena: **200 Kč**

Odsávací tkanina:

- Cena: **100 Kč/m²**

Vakuová fólie:

- Cena: **20 Kč/m²**

Trhací tkanina:

- Cena: **120 Kč/m²**

6.2.2 Kalkulace plováku

Separální vosk na formy:

- Množství: 250 ml
- Cena: **412 Kč**

Separátor PVA:

- Cena: **859 Kč/5 l**

Epoxidová pryskyřice L285:

- Cena: **5 138 Kč/10 kg**

Tužidlo H500:

- Cena: **4 260 Kč/10 kg**

Polyuretanová pěna PU630/PH4:

- Cena: **2 500 Kč/ 2 l**

6.2.3 Kalkulace rukojeti

Polyesterová pryskyřice HAVELpol 1.-základní:

- Cena: **678 Kč/10 kg**

Peroxid Butanox M50:

- Cena: **100 Kč/0,5 kg**

Emulzní rohož ES 22-6:

- Cena: **762 Kč/5 kg**

Celkem materiál: 25 640 Kč

Celková kalkulace zařízení kompozitové dílny

290 621 Kč

7 ALTERNATIVY PRO DALŠÍ VYUŽITÍ DÍLNY

Tento projekt dílny, jakož i dílna samotná, je směřována především pro výuku a nabývání cenných zkušeností studentů Ústavu letecké dopravy na VŠB-TUO v oblasti výroby a oprav kompozitních materiálů. Nicméně v letech minulých celým ekonomickým světem otřásla krize, což se výraznou měrou promítlo i do letectví jako celku. Přední české letecké společnosti, především ČSA, tak zákonitě přišly o svůj klidný ekonomický rozvoj, což má za následek i úbytek mnoha pracovních míst. Poslední dobou sleduji i mírný úbytek studentů v oborech letectví na mnoha školách. Tento fakt dávám za vinu právě nedávné ekonomické krizi v souvislosti s výše uvedenými dopady a tento fakt pozoruji i v rámci Vysoké školy báňské. Konkrétně v množství studentů v nižších ročnících Technologie údržby letecké techniky na našem ústavu. Tento trend zapříčiní i nižší využití kompozitové dílny.

Pro větší vytížení a uplatnění této moderní dílny, mimo termíny výuky studentů, bych navrhoval uzavřít finanční dohodu s firmou Job Air Technic a.s., která má své odborné pracoviště stejného zaměření v blízkosti právě zvažovaného místa pro kompozitovou dílnu ÚLD, o možném dočasném využívání této dílny pracovníky firmy Job Air Technic a.s. v případě akutní potřeby.

Tato myšlenka plnohodnotného využívání v praxi údržby letadel, je také jedním z důvodů tolik vybavené dílny, která by se pro „pouhý“ základní výcvik studentů dala nazvat až nadstandardní. Některými prvky v navrhované dílně totiž nedisponuje ani výše zmíněné pracoviště zaběhlé údržbové organizace.

ZÁVĚR

Myslím, že jsem dokázal splnit všechny vytyčené cíle uvedené na začátku této práce, a proto tuto práci jako celek hodnotím kladně.

Závěrem snad jen vyslovení přání, aby tato práce našla smysluplné využití v oblasti výuky nových techniků údržby letadel a malou, leč jistou měrou tak napomohla dalšímu rozvoji právě budoucích techniků. Já osobně jsem díky této práci získal daleko hlubší povědomí o moderních materiálech používaných při výrobě letadel, jakož i výrobu a údržbu těchto materiálů. V neposlední řadě poznal i několik nových, a věřím, že i mých budoucích kolegů v letecké praxi.

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Rostislavu Horeckému, Ph.D za jeho cenné rady a předané poznatky během kompletování této práce. Dále bych rád poděkoval i Radimu Májovi, jakožto technikovi firmy Job Air Technic a.s. za poskytnuté materiály a praktické ukázky ze specializovaného pracoviště.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Literatura

Bareš, R.A.: Kompozitní materiály. SNTL - Nakladatelství technické literatury, N. P. Praha 1988.

Bhagwan, D, Lawrence, D.: Vláknové kompozity. SNTL - Nakladatelství technické literatury, N. P. Praha 1987.

Internet (10.5.2013)

[1]http://www.mpsv.cz/ppropo.php?ID=nv101_2005

[2]<http://www.havel-composites.com/clanky/4-Technologie/76-Technologie-jejich-popis-a-schemata.html>

<http://www.5m.cz/cz/>